

Sveučilište u Zagrebu

**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

dr.sc. Marino Grozdek

Hrvoje Hermanović

Zagreb, 2014.

Sveučilište u Zagrebu

**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

IZRADA PROJEKTNE DOKUMENTACIJE REKONSTRUKCIJE  
KONDENZATORSKOG KRUGA AMONIJAČNOG RASHLADNOG  
POSTROJENJA

## SADRŽAJ

Naslov

Popis tablica

Popis oznaka i mjernih jedinica	Stranica
1. Uvod	1
2. Opći podaci o rashladnom sustavu	
2.1. Postojeći sekundarni rashladni krug prema potrošačima	2
2.2. Postojeći primarni rashladni krug unutar strojarnice	2
2.3. Postojeći sustav kondenzacije komprimiranih amonijačnih para	2
3. Opis komponenata u sklopu rashladnog sustava	
3.1. Potrošači	3
3.2. Kompresori u sklopu rashladnog postrojenja	3
3.3. Evaporativni kondenzatori	4
3.4. Sustav kondenzatorske vode	5
3.5. Sustav posrednog hlađenja ulja	5
3.6. Sustav automatskog odvajanja nekondenzibilnih plinova	6
3.7. Visokotlačne posude u sklopu rashladnog postrojenja	6
3.8. Niskotlačne posude u sklopu rashladnog postrojenja	7
3.9. Pumpe za distribuciju amonijaka prema potrošačima	8
4. Tehnički proračun novih komponenata	
4.1. Sustav kondenzacije amonijačnih para	9
4.2. Pumpe za evaporativne kondenzatore	10
4.3. Sustav posrednog hlađenja ulja kompresora	11
4.4. Bazen kondenzatorske vode	12
4.5. Sustav dopune omekšane vode u kondenzatorski bazen	13

4.6. Defrostacijska posuda	14
4.7. Sakupljač ukapljene radne tvari	15
4.8. Veza sakupljača kapljevine i defrostacijske posude	16
4.9. Proračun pada tlaka u visokotlačnom cjevovodu	18
Literatura	
Crteži	

## Popis tablica

*Tablica 1. Karakteristike potrošača na temperaturi donjeg kompresijskog stupnja ( $T_e=-30^{\circ}\text{C}$ )*

*Tablica 2. Karakteristike kompresora donjeg kompresijskog stupnja ( $T_{eLP}=-30^{\circ}\text{C}$ )*

*Tablica 3. Karakteristike kompresora gornjeg kompresijskog stupnja ( $T_{eHP}=-10^{\circ}\text{C}$ )*

*Tablica 4. Karakteristike evaporativnog kondenzatora amonijaka*

*Tablica 5. Karakteristike pumpe za dobavu vode na evaporativne kondenzatore*

*Tablica 6. Karakteristike visokotlačnih posuda u sklopu rashladnog sustava*

*Tablica 7. Karakteristike niskotlačnih posuda u sklopu rashladnog sustava*

*Tablica 8. Karakteristike amonijačnih pumpi u sklopu rashladnog sustava  $T_{eHP}=-10^{\circ}\text{C}$*

*Tablica 9. Karakteristike amonijačnih pumpi u sklopu rashladnog sustava  $T_{eLP}=-30^{\circ}\text{C}$*

*Tablica 10. Popis elemenata ventilske grupe i njihove karakteristike u pogonu*

## Popis oznaka i mjernih jedinica

Oznaka	Jedinica
$T_e, T_c, T_{eLP}, T_{eHP}, T_{wb}$	°C
$\Phi_{cond}, N_{ef}, N_{inst}, N_{em}$	kW
$m_{NH3}$	kg
$qv_{NH3}, qv_{H2O}$	m <sup>3</sup> /h
$q_m$	kg/s
$H(dp), L, s$	m
$V$	m <sup>3</sup>
$n$	rpm
$U$	V
$f$	Hz

Izjavljujem da sam samostalno radio rad i osobito se zahvaljujem mentoru dr.sc. Marinu Grozdeku na strpljivosti i pruženoj pomoći tokom pisanja završnog zadatka.





## 1. Uvod

Oprema rashladnog sustava hladnjače na Veletržnici je zbog godine proizvodnje i uvjetima tokom rada, stara i dotrajala. Dotrajalost opreme je najuočljivija u visokotlačnom dijelu amonijačnog rashladnog kruga što je i očekivano s obzirom da oprema u tom dijelu trpi najveće tlakove te termodinamička i mehanička naprezanja. Upravo taj dio sustava je predmet ovog projekta, koji predviđa zamjenu dotrajalih komponenti novima u strojarnici 2.

Predviđena je kompletna zamjena dotrajale opreme, armature, automatike te pratećeg cijevnog razvoda u sklopu predmetnog dijela rashladnog sustava, sukladno Pravilniku o tlačnoj opremi NN br.58/10.

Rashladni kapaciteti rashladnih komora te instalirana snaga pogonskih motora kompresora u sklopu postojećeg rashladnog sustava se prilikom predviđene zamjene opreme ne mijenjanju.

Kako bi se smanjila količina amonijaka unutar rashladnog sustava, te radi povećanja njegove učinkovitosti i pouzdanosti, predviđa se zamjena postojećeg sustava kondenzacije amonijačnih para koji koristi kombinaciju shell&tube kondenzatora i rashladnih tornjeva, sa novim evaporativnim kondenzatorima.

Dispozicijski crtež i cjelina novog visokotlačnog kruga su izvedeni na način da se ne ometa rad postrojenja prilikom montaže, s kraćim zastojima prilikom spajanja novomontirane rashladne opreme na niskotlačni dio sustava.

Najznačajniji radovi pri zamjeni dotrajale postojeće rashladne opreme uključuju:

- zamjena shell&tube kondenzatora i rashladnih tornjeva te prateće opreme sa dva nova evaporativna kondenzatora u kompletu sa novim odgovarajućim pumpama za vodu, novom armaturom i automatikom
- zamjena postojećih visokotlačnih posuda, a to su sakupljač kapljevito amonijaka i defrostacijska posuda sa novima znatno manjeg volumena od postojećih
- zamjena kompletnog postojećeg visokotlačnog cjevovoda s novim, uključujući i vertikalne linije prema kompresorima br.1 i br.2 koje završavaju s novim zaporno nepovratnim ventilom koji se ugrađuje neposredno na potisni priključak kompresora
- zamjena postojećeg odjeljivača nekondenzibilnih plinova novim
- ugradnja novog bazena kondenzatorske vode zajedno sa pratećim razvodom vode
- ugradnja sustava za automatsko kemijsko tretiranje kondenzatorske vode inhibitorima i biocidom, te kontrola zasićenosti kondenzatorske vode automatskim odsoljavanjem i dopunom bazena
- ugradnja novog centralnog nadzorno upravljačkog sustava povezanog na novougrađenu opremu

## 2. Opći podaci o rashladnom sustavu

### 2.1. Postojeći sekundarni rashladni krug prema potrošačima

Rashladni sustav, gledano prema sekundarnom krugu hlađenja, je izveden kao sustav direktnog hlađenja potrošača radnom tvari, što znači da je ugrađen sustav amonijačnih pumpi koji od separatora kapljevine pumpaju ukapljeni amonijak prema isparivačima u rashladnim komorama, te mješavinu pare i kapljevine natrag do separatora. Ovaj proces se odvija u dva međusobno razdvojena rashladna kruga od kojih svaki radi na jednom od sljedeća dva temperaturna režima:

- temperatura isparenja  $T_{eHP} = -10^{\circ}\text{C}$  (skladišta ohlađene robe te radni i manipulativni prostori)
- temperatura isparenja  $T_{eLP} = -30^{\circ}\text{C}$  (skladišta smrznute robe te tehnološki strojevi za zamrzavanje)

U trenutnoj izvedbi, na rashladni krug temperature isparenja  $-10^{\circ}\text{C}$  nema postoji mogućnost spajanja potrošača zbog ne postojanja cjevnog razvoda.

### 2.2. Postojeći primarni rashladni krug unutar strojarnice

Rashladni sustav je podijeljen na dva međusobno ovisna rashladna kruga prema temperaturnom režimu isparenja, od kojih je jedan niskotlačan a drugi visokotlačan [1]. Jednostavnije rečeno, rashladni sustav je izveden sa dvostupanjskom kompresijom, odnosno u tzv. "booster" izvedbi [1].

Temperaturni režimi rada, odnosno temperature isparenja i kondenzacije u donjoj, niskotlačnoj i gornjoj, visokotlačnoj kompresijskoj kaskadi su sljedeći:

- donja kompresijska kaskada  $T_e/T_c = -30^{\circ}\text{C}/-10^{\circ}\text{C}$
- gornja kompresijska kaskada  $T_e/T_c = -10^{\circ}\text{C}/+35^{\circ}\text{C}$

### 2.3. Postojeći sustav kondenzacije komprimiranih amonijačnih para

Postojeći kondenzacijski sustav je izveden pomoću shell&tube kondenzatora s amonijakom u plaštu a kondenzatorskom vodom u cijevnoj sekciji i pripadajućih rashladnih tornjeva.

Kondenzatorska voda se od pripadajućeg bazena pumpama distribuira kroz cijevnu sekciju kondenzatora pri čemu preuzimanjem topline ukapljuje amonijačne pare, te se zatim dovodi cjevnim razvodom do vrha rashladnog tornja gdje se raspršuje preko ispune i evaporativno hladi gravitacijskim oticanjem natrag u bazen kondenzatorske vode čime je krug zatvoren te se kao takav ciklički ponavlja tijekom rada rashladnog sustava.

### 3. Opis komponenata u sklopu rashladnog sustava

#### 3.1. Potrošači

Strojarnica 2 opslužuje rashladnom energijom potrošače u sklopu hladnjače 2 i to na sljedeći način:

10 rashladnih komora na temperaturi isparivanja  $T_e = -30^{\circ}\text{C}$

Detaljni podaci o kapacitetu, temperaturi te o načinu otapanja pojedinih rashladnih komora se nalaze u Tablici 1.

Tablica 1. Karakteristike potrošača na temperaturi donjeg kompresijskog stupnja ( $T_e = -30^{\circ}\text{C}$ )

Naziv potrošača	Tip otapanja	Temperatura komore [ $^{\circ}\text{C}$ ]	Rashladni učin [kW]
1. Komora br.1	T.P.*	$-20^{\circ}\text{C}$	41
2. Komora br.2	T.P.	$-20^{\circ}\text{C}$	41
3. Komora br.3	T.P.	$-20^{\circ}\text{C}$	41
4. Komora br.4	T.P.	$-20^{\circ}\text{C}$	41
5. Komora br.5	T.P.	$-20^{\circ}\text{C}$	54
6. Komora br.6	T.P.	$-20^{\circ}\text{C}$	25
7. Komora br.7	T.P.	$-20^{\circ}\text{C}$	25
8. Komora br.8	T.P.	$-20^{\circ}\text{C}$	38
9. Komora br.9	T.P.	$-20^{\circ}\text{C}$	38
10. Komora br.10	T.P.	$-20^{\circ}\text{C}$	54
11. Hodnik	T.P.	$4^{\circ}\text{C}$	34
12. Predprostor	T.P.	$4^{\circ}\text{C}$	19
13. Ventilacija	T.P.	-	46
UKUPNI RASHLADNI UČIN			497

\* Oznaka T.P. se odnosi na otapanje toplim plinom

#### 3.2. Kompresori u sklopu rashladnog postrojenja

U strojarnici je ugrađeno 6 kompresora, pri čemu su 2 za rad u gornjem stupnju, 3 za rad u donjem stupnju i 1 u "booster" izvedbi, dakle može raditi i u gornjem i donjem stupnju kompresije. Svi kompresori su stapne izvedbe istog proizvođača Sabroe.

Hlađenje ulja i glava kompresora je vodom pomoću cirkulacijske pumpe u zatvorenom krugu s bazenom kondenzatorske vode.

Regulacija kapaciteta je stupnjevana i provodi se ručno, podizanjem usisnog samoradnog ventila pojedinih cilindara zbog čega taj cilindar ne sudjeluje u kompresiji, a moguća je za kompresore u oba stupnja u četiri koraka za 25%, 50%, 75%, 100% kapaciteta [2].

*Tablica 2. Karakteristike kompresora donjeg kompresijskog stupnja ( $T_{eLP}=-30^{\circ}\text{C}$ )*

Model i naziv rashladnog kompresora	Snaga el.mot.		Učin hl.ulja	Rashl. učin
	Nef	Ninst		
SMC 16-100 Stal – 1450rpm – LP (kompresor br.6)	75	38	6	254
SMC 12-100 Stal – 980rpm – LP/HP (kompresor br.7)	75	26	3	173
SMC 8-100 Stal – 1450rpm – LP (kompresor br.8)	37	20	3	127
SMC 8-100 Stal – 1450rpm – LP(kompresor br.9)	37	20	3	127
<b>UKUPNO KOMPRESORI</b>	<b>224</b>	<b>104</b>	<b>15</b>	<b>681</b>

- napomena: gornje navedene veličine su izražene u kW

*Tablica 3. Karakteristike kompresora gornjeg kompresijskog stupnja ( $T_{eHP}=-10^{\circ}\text{C}$ )*

Model i naziv rashladnog kompresora	Snaga el.mot.		Učin hl.ulja	Rashl. učin
	Nef	Ninst		
SMC 16-100 Stal – 990rpm – HP (kompresor br.1)	84	110	12	325
SMC 16-100 Stal – 900rpm – HP (kompresor br.2)	84	110	12	325
SMC 12-100 Stal – 980rpm – LP/HP (kompresor br.7)	navedeno u Tablici 2.			
<b>UKUPNO KOMPRESORI</b>	<b>168</b>	<b>220</b>	<b>24</b>	<b>650</b>

- napomena: gornje navedene veličine su izražene u kW

### 3.3. Evaporativni kondenzatori

- temp. kondenzacije:  $35^{\circ}\text{C}$
- temp. vlažnog termometra:  $24^{\circ}\text{C}$

Evaporativni kondenzator se sastoji od cijevne sekcije za izmjenu topline, sustava za distribuciju i raspršivanje vode sa izmjenjivim sapnicama, bazena za prihvatanje vode, eliminатора kapljica i plašta, sve antikorozivno zaštićeno cinčanjem, te frekventno reguliranim aksijalnim ventilatorima.

S obzirom na nepovoljne vanjske uvjete zimi, kondenzatori se spajaju na zajednički izdvojeni bazen smješten unutar zgrade strojarnice.

Tablica 4. Karakteristike evaporativnog kondenzatora amonijaka

Model i naziv evaporativnog kondenzatora	$m_{HN3}$ [kg]	$N_{em}$ [kW]	$q_{vNH3}$ [m <sup>3</sup> /h]	$\Phi_{cond}$ [kW]
1. ATC-135E-1g – Evapco (2x2,2kW aks. ventilator)	195	4,4	61,2	447,6
2. ATC-135E-1g – Evapco (2x2,2kW aks. ventilator)	195	4,4	61,2	447,6
UKUPNO EVAPORATIVNI KONDENZATORI	390	8,8	122,4	875

### 3.4. Sustav kondenzatorske vode

Dimenzije bazena kondenzatorske vode su 2x2x2,5m, što daje ukupni volumen  $V_b=10m^3$ . Sustav bazena kondenzatorske vode se sastoji od slijedećih elemenata:

- sustav za distribuciju vode prema evaporativnim kondenzatorima (radna+rezervna)
- izdvojeni bazen kondenzatorske vode
- sustav za automatsku nadopunu omekšane vode
- sustav za kemijsko tretiranje kondenzatorske vode
- sustav za automatsko odsoljavanje
- mjerna i regulacijska oprema te armatura s pripadajućim filterima

Tablica 5. Karakteristike pumpe za dobavu vode na evaporativne kondenzatore

Model i naziv dobavne pumpe	$H(dp)$ [m]	$q_{vH2O}$ [m <sup>3</sup> /h]	$N_{em}$ [kW]
1. TP 100-110/4 – Grundfos (radna)	9,67	64,1	3
2. TP 100-110/4 – Grundfos (radna)	9,67	64,1	3
3. TP 100-110/4 – Grundfos (rezervna)	9,67	64,1	3
UKUPNO PUMPE KONDENZATORSKE VODE		192,3	9

### 3.5. Sustav posrednog hlađenja ulja kompresora

Ulje i glave kompresora se hlade cirkulacijom kondenzatorske vode iz bazena, dvocjevnim razvodom do pojedinih kompresora. Za cirkulaciju se brine cirkulacijska pumpa, kojih u sustavu ima dvije, jedna radna i jedna rezervna.

Tablica 6. Karakteristike pumpe za distribuciju vode za hlađenje ulja kompresora

Model i naziv dobavne pumpe	$H(dp)$ [m]	$q_{vH2O}$ [m <sup>3</sup> /h]	$N_{em}$ [kW]
1. TP 50-180/2 – Grundfos (radna)	12,3	7,48	0,75
2. TP 100-110/4 – Grundfos (radna)	12,3	7,48	0,75
UKUPNO PUMPE KONDENZATORSKE VODE		14,96	1,5

### 3.6. Sustav automatskog odvajanja nekondenzibilnih plinova

Plinovite primjese amonijaku, kao što su kisik i dušik, loše utječu na učinkovitost sustava, te se uklanjaju pomoću sustava za automatsko odvajanje nekondenzibilnih plinova, tzv. "AUTO PURGER", koji ih s priključnih radnih točaka odvaja iz rashladnog sustava. Priključne radne točke su ujedno i najkritičnije točke unutar sustava na kojima se skuplja većina zaostalog zraka a to su [2]:

- geodetski najviša točka ulaznog priključka amonijačnih para u svaki evaporativni kondenzator za odzračivanje sustava u stanju mirovanja
- svaki pojedinačni izlazni priključak kapljevito amonijaka na kondenzatorima
- defrostacijska posuda za prihvrat dvofazne smjese nakon otapanja potrošača toplim plinom

Sustav automatskog odvajanja je opremljen svom potrebnom opremom i automatskom regulacijom. Na geodetski najvišoj točki amonijačnog cjevovoda se ugrađuje i ručni regulacijski ventil za mogućnost eventualno potrebnog ručnog odzračivanja rashladnog sustava.

### 3.7. Visokotlačne posude u sklopu rashladnog sustava

Projektni tlak amonijačnih visokotlačnih posuda u sklopu rashladnog sustava je 16 bar. Građene su od čeličnog plašta savijenog u cilindar i čeličnih podnica. Opremljene su grupom sigurnosnih ventila baždarenih za otvaranje pri tlaku koji odgovara projektnom, dakle 16 bar. Osim sigurnosne grupe, prateća oprema uključuje nivokazno staklo za vizualnu kontrolu razine amonijaka, te zaštitnim automatski nivo prekidačem za zaštitu od previsoke, a prema potrebi i sa nivo prekidačem za zaštitu od preniske razine kapljevito amonijaka unutar posude.

U najnižoj točki posude je spojena dodatna posuda za sakupljanje ulja, koje se ispušta ručnim brzozatvarajućim ventilom, opremljenim sigurnosnom povratnom oprugom za automatsko zatvaranje.

Visokotlačne posude u sklopu rashladnog sustava su sakupljač kapljevito amonijaka (tzv. "receiver") koji prihvata ukapljenu radnu tvar nakon kondenzacije te ju dalje distribuira za punjenje separatora kapljevine unutar rashladnog sustava, te defrostacijska posuda za prihvrat dvofazne smjese nakon otapanja potrošača toplim plinom. Defrostacijska posuda ujedno amortizira vibracije te stabilizira oscilacije usisnog tlaka unutar niskotemperaturnog dijela rashladnog sustava [2].

Tablica 7. Karakteristike visokotlačnih posuda u sklopu rashladnog sustava

Izvedba/god. proizv. /DN sigurnosne grupe/ $T_c$	$\phi$ [m]	$L$ [m]	$V$ [lit]	$m_{NH3}$ [kg]
1. HN3 horizontalni sakupljač /NOVI/DN25/ $T_c=+35^\circ\text{C}$	1,2	3,6	4500	1365,12
2. NH3 horizontalna def. posuda /NOVA/DN25/ $T_c=+35^\circ\text{C}$	0,8	2,4	1300	555,26
UKUPNO KAPLJEVITOG HN3 U VISOKOTLAČNIM POSUDAMA				2082,2

### 3.8. Niskotlačne posude u sklopu rashladnog sustava

U skupinu niskotlačnih posuda u sklopu rashladnog sustava se ubrajaju odjeljivači kapljevito amonijaka, tzv. separatori. Projektni tlak posuda je 13 bar, te su opremljene grupom zaštitnih ventila baždarenih na otvaranje pri tlaku jednokom projektnom.

Postojeći separatori su horizontalne izvedbe, izrađene od čeličnog plašta savijenog u cilindar te čeličnih podnica. Na najnižoj točki posude se nalazi dodatna posuda za sakupljanje ulja, opremljena ručnim brzozatvarajućim ventilom sa sigurnosnom povratom oprugom za automatsko zatvaranje. Na najvišoj točki se nalazi tzv. parni dom iz kojeg cjevni razvod vodi prema usisu kompresora. Funkcija parnog doma je zaštita kompresora od hidrauličkog udara. Posude su opremljene nivokaznim staklom za vizualnu kontrolu razine kapljevito amonijaka unutar posude, te nivo prekidačima za zaštitu od previsoke ili preniske razine kapljevine unutar posude. Kompletna niskotlačna posuda je toplinski izolirana poliuretanom.

Odjeljivači kapljevito amonijaka služe za prihvrat dvofazne smjese radne tvari na povratku s potrošača u pripadajućem rashladnom krugu za direktno hlađenje te za odvajanje kapljevite od parne faze. Dopunjavaju se amonijakom preko automatske ventilske grupe upravljane signalom od pripadajuće regulacijske nivo sonde, iz sakupljača amonijaka za separator na temp. isparavanja  $-10^\circ\text{C}$ , te se iz tog separatora dopunjava separator na temp. isparavanja  $-30^\circ\text{C}$ .

Tablica 8. Karakteristike niskotlačnih posuda u sklopu rashladnog sustava

Izvedba/ god. proizv. / DN sigurnosne grupe/ $T_e$	$\phi$ [m]	$L$ [m]	$V$ [lit]	$m_{NH3}$ [kg]
1. NH3 horizontalni separator/1970g/DN25/ $T_e=-10^\circ\text{C}$	1,1	4,7	4750	1000
2. NH3 horizontalni separator/1992g/DN25/ $T_e=-30^\circ\text{C}$	0,8	3,4	1800	450
UKUPNO KAPLJEVITOG NH3 U NISKOTLAČNIM POSUDAMA				1450

### 3.9. Pumpe za distribuciju amonijaka prema potrošačima

Amonijačne pumpe služe za distribuciju hladnog amonijaka potrošačima u krugu direktnog sustava hlađenja u odgovarajućem temperaturnom režimu. Opremljene su potrebnom zapornom, mjernom i regulacijskom opremom. Pumpa je na potisnoj strani opremljena prestrujnim ventilom za ograničenje maksimalne visine dizanja te diferencijalnim presostatom za zaštitu od previsokog potisnog tlaka pumpe. Pumpe su regulirane signalom za hlađenje od bilo kojeg potrošača iz pripadnog kruga hlađenja.

*Tablica 9. Karakteristike amonijačnih pumpi u sklopu rashladnog sustava TeHP=-10°C*

Model pumpe	H (dp) [m]	$q_{vNH3}$ [m <sup>3</sup> /h]	Nem [kW]
1. PA 202-MPD Daruvar (1400rpm – radna) – izvan funkcije	55	8,5	5,5
2. PA 202-MPD Daruvar (1400rpm – rezervna) – izvan funkcije	55	8,5	5,5
UKUPNO PUMPE ZA AMONIJAK		17	11

*Tablica 10. Karakteristike amonijačnih pumpi u sklopu rashladnog sustava TeLP=-30°C*

Model pumpe	H (dp) [m]	$q_{vNH3}$ [m <sup>3</sup> /h]	Nem [kW]
1. PA 202-MPD Daruvar (1400rpm – radna)	50	10	5,5
2. PA 202-MPD Daruvar (1400rpm – rezervna)	50	10	5,5
UKUPNO PUMPE ZA AMONIJAK		20	11



## 4. Tehnički proračun novih komponenata

U poglavlju 1. su navedene komponente koje treba zamijeniti novima kako bi se ostvarila veća pouzdanost i energetska učinkovitost cjelokupnog sustava. U ovom poglavlju se na temelju poznatih karakteristika kompresora i potrošača vrši proračun kako bi se ispravno dimenzionirala i odabrala nova oprema.

### 4.1. Sustav kondenzacije amonijačnih para

Na temelju bilance donjeg stupnja, prema ukupnom rashladnom učinku kompresora i sumi njihovih efektivnih snaga, pri čemu je izostavljen kompresor br.7 ("booster" kompresor) jer je za pokrivanje toplinskog opterećenja komora dovoljan rashladni učin preostalih kompresora, se određuje toplinsko opterećenje gornjeg stupnja:

Ukupno toplinsko opterećenje rashladnih komora:	497 kW
Ukupan rashladni učinak kompresora uključenih u bilancu:	508 kW
Toplinsko opterećenje gornjeg stupnja:	586 kW

U visokotlačni vod iz kompresora izlazi struja pregrijanih amonijačnih para čija je entalpija povećana za sumu efektivnih snaga kompresora gornjeg kompresijskog stupnja, te ulazi u opremu za kondenzaciju amonijačnih para:

Toplinsko opterećenje gornjeg stupnja:	586 kW
Ukupan rashladni učinak kompresora gornjeg stupnja:	650 kW
Potrebni kapacitet kondenzacije (uključen učin hladnjaka ulja):	857 kW

#### ODABRANI EVAPORATIVNI KONDENZATORI

Kondenzatori su kao što je navedeno spojeni na zajednički izdvojeni bazen kondenzatorske vode smješten u strojarnici.

• proizvođač:	Evapco
• model:	ATC-135E-1g
• radni medij:	NH3/voda/zrak
• temp. kondenzacije:	+35°C
• temp. vlažnog termometra:	+24°C
• toplinski učin kondenzacije:	447,6kW
• snaga instaliranih elektromotora:	2x2,2kW
• volumni protok zraka:	11,9 m <sup>3</sup> /s
• volumni protok vode:	61,2 m <sup>3</sup> /h
• gubici vode evaporacijom:	0,54 m <sup>3</sup> /h

• količina amonijaka unutar cijevne sekcije:	195 kg
• količina vode u optoku:	1219 lit
• dužina:	3651 mm
• širina:	1230 mm
• visina:	1965 mm
• težina u radu:	3643 kg
• ukupno predviđeni broj kondenzatora:	2

Ukupno toplinski učin odabranih kondenzatora  $T_c/T_{wb}=+35/24^{\circ}\text{C}$  875 kW

#### 4.2. Pumpe za evaporativne kondenzatore

Proračun potrebne visine dobave i potrebnog volumnog protoka pumpe za vodu u sustavu evaporativnih kondenzatora.

→ proračun pada tlaka u cjevovodu za dobavu vode do pojedinog kondenzatora (za duljinu je odabrana duljina od rezervne pumpe do kondenzatora):

• duljina cjevovoda:	13 m
• dimenzija priključka vode na kondenzatoru:	DN100
• volumni protok vode:	61,2 m <sup>3</sup> /h
• brzina strujanja:	2,16 m/s
• linijski otpor strujanju:	5,5 kPa
• ukupni lokalni otpori strujanju:	11,93 kPa
• geodetska visina priključka vode:	7 m (70kPa)
• pad tlaka na raspršivačima vode:	13,8 kPa

Ukupno pad tlaka na potisnom cjevovodu za dobavu vode na EK: 101,23 kPa

#### ODABRANA PUMPA ZA EVAPORATIVNI KONDENZATOR

Svaki kondenzator ima svoju pumpu za dobavu vode, te jednu zajedničku (rezervnu) pumpu, te svoj potisni cjevovod, te su kao takvi neovisni jedan o drugom. Rezervna pumpa se može, manipulacijom ručnih zapornih ventila, spojiti u bilo koji krug kondenzatorske vode. Kako su kondenzatori identični, odabrane su 3 iste pumpe.

• proizvođač:	Grundfos
• model:	TP 100-130/4
• radni medij:	voda
• volumni protok:	68,9m <sup>3</sup> /h
• visina dobave:	12,8 m
• broj okretaja elektromotora:	1455 rpm

- instalirana snaga elektromotora: 4 kW
- napajanje motora: 380V/3~/50Hz
- ukupno predviđeni broj kondenzatorskih pumpi: 3

#### 4.3. Sustav posrednog hlađenja ulja kompresora

Sustav je izveden tako da se ulje i glave kompresora hlade pomoću vode iz kondenzatorskog bazena koju distribuira vodena pumpa, smještena uz bazen. Prateći cjevni razvod je dvocjevne izvedbe, sa svom pripadajućom armaturom (balansirajući i zaporni ventili). Predviđeni broj pumpi je 2, pri čemu je jedna radna a druga rezervna.

→ proračun ukupno potrebnog rashladnog učina za ulje:

- ukupno toplinski učin hladnjaka ulja  $TeHP = -10^{\circ}\text{C}$ : 24 kW
- ukupno toplinski učin hladnjaka ulja  $TeLP = -30^{\circ}\text{C}$ : 15 kW

Ukupno potrebni rashladni učin za hlađenje ulja kompresora: 39 kW

→ proračun ukupno potrebnog protoka posrednog medija za hlađenje ulja kompresora i rezultirajućeg pada tlaka:

- ukupni potrebni protok posrednog medija:  $6,75 \text{ m}^3/\text{h}$
- porast temperature vode prolaskom kroz kompresor:  $5^{\circ}\text{C}$
- dimenzija glavnog cijevnog razvoda: DN50
- dimenzija ogranaka: DN32
- brzina strujanja vode u glavnom razvodu:  $0,91 \text{ m/s}$
- duljina cijevnog razvoda (polaz+povrat): 62 m
- pad tlaka vode kroz blok kompresora: 80 kPa
- linijski otpor strujanju vode: 11,67 kPa
- lokalni otpori strujanju vode: 8,5 kPa

Ukupni pad tlaka cijevnog razvoda za hlađenje ulja kompresora: 100,17 kPa

#### ODABRANA PUMPA ZA POSREDNO HLAĐENJE ULJA KOMPRESORA

- proizvođač: Grundfos
- model: TP 50-180/2
- radni medij: voda
- volumni protok:  $7,48 \text{ m}^3/\text{h}$
- visina dobave: 12,3 m
- broj okretaja elektromotora: 2850 rpm

- instalirana snaga elektromotora: 0,75 kW
- napajanje motora: 380V/3~/50Hz
- ukupno predviđeni broj pumpi: 2

#### 4.4. Bazen kondenzatorske vode

Bazen je pripremljen za tzv. "remote" ugradnju, odnosno odvojen je zajedno s pumpama i pratećom opremom od kondenzatora te je smješten unutar zgrade strojarnice, a slijedećih je dimenzija:

- dužina: 2 m
- širina: 2 m
- visina: 2,5 m
- ukupno tlocrtna površina bazena: 4 m<sup>2</sup>
- ukupni volumen bazena: 10 m<sup>3</sup>
- maksimalni nivo vode do kote zaštitnog preljeva: 2,25 m

→ proračun maksimalne potrošnje kondenzatorske vode:

- ukupno predviđeni broj kondenzatora: 2
- koeficijent ugušćenja (cycles of concentration): 2
- gubici vode evaporacijom (1EK): 0,54 m<sup>3</sup>/h
- gubici vode odsoljavanjem (1EK): 0,54 m<sup>3</sup>/h

Maksimalna potrošnja kondenzatorske vode: 2,16 m<sup>3</sup>/h

→ proračun ukupnog pada tlaka u sustavu odsoljavanja bazena:

- nazivni otvor cjevovoda za odsoljavanje: DN50
- nazivni otvor vodomjera na cjevovodu za odsoljavanje: DN50
- nazivni otvor motornog ventila za odsoljavanje: DN50
- duljina cjevovoda za odsoljavanje: 12 m
- brzina strujanja vode u cjevovodu za odsoljavanje: 0,15 m/s
- Kv vodomjera na cjevovodu za odsoljavanje: 32 m<sup>3</sup>/h
- Kv motornog ventila za odsoljavanje: 79 m<sup>3</sup>/h
- linijski pad tlaka kroz cjevovod za odsoljavanje: 86,15 Pa
- pad tlaka preko vodomjera na cjevovodu za odsoljavanje: 113,9 Pa
- pad tlaka preko motornog ventila za odsoljavanje: 17,33 Pa

Ukupni pad tlaka u sustavu za odsoljavanje bazena: 217,38 Pa

→ proračun min. donje i gornje razine vode u bazenu:

- minimalna razlika gornje i donje radne razine vode: 1,09 m
- minimalna razlika donje radne i donje zaštitne razine vode: 0,1 m
- minimalna razina vode za zaštitu pumpi od suhog rada: 0,5 m

Minimalno potreba donja radna razina vode u bazenu: 0,6 m

Minimalna količina vode u jednom ciklusu dopune bazena: 4,32 m<sup>3</sup>

→ proračun minimalne količine vode koju bazen mora prihvatiti:

- količina vode u optoku: 1119 lit
- ukupno predviđeni broj kondenzatora: 2

Ukupno količina kondenzatorske vode u optoku: 2,24 m<sup>3</sup>

Količina vode u bazenu na gornjoj radnoj razini: 6,4 m<sup>3</sup>

Minimalna količina vode koju bazen mora prihvatiti: 8,64 m<sup>3</sup>

→ proračun max. dopuštene radne razine vode u bazenu:

- maksimalno dopušteni radni volumen vode u bazenu: 6,76 m<sup>3</sup>

Maksimalno dopuštena radna razina vode u bazenu: 1,69 m

Maksimalni volumen vode u bazenu (do preljeva): 9 m<sup>3</sup>

→ bazen kondenzatora zadovoljava radnim uvjetima

Sustav dopune vode i sustav za odsoljavanje su međusobno povezani na način da kada razina vode padne na minimalnu dopuštenu, nivo prekidač unutar bazena aktivira, tj. otvara motorni ventil za dopunu te protok vode aktivira tajmer koji regulira radom motornog ventila sustava za odsoljavanje, na način da se održi prihvatljiva razina kvalitete kondenzatorske vode.

#### 4.5. Sustav dopune omekšane vode u kondenzatorski bazen

→ proračun ukupnog pada tlaka vode u sustavu dopune:

- maksimalna potrošnja kondenzatorske vode: 2,16 m<sup>3</sup>/h
- nazivni otvor cjevovoda za dopunu: DN50
- nazivni otvor vodomjera na cjevovodu za dopunu: DN50
- nazivni otvor motornog ventila za dopunu: DN50
- duljina cjevovoda za dopunu: 185 m
- brzina strujanja vode u cjevovodu za dopunu: 0,29 m/s

- Kv vodomjera na cjevovodu za dopunu: 32 m<sup>3</sup>/h
- Kv motornog ventila za dopunu: 79 m<sup>3</sup>/h
- linijski pad tlaka kroz cjevovod za dopunu: 3174,75 Pa
- pad tlaka preko vodomjera na cjevovodu za odsoljavanje: 455,63 Pa
- pad tlaka preko motornog ventila za odsoljavanje: 74,76 Pa

Ukupno pad tlaka u sustavu za dopunu vode bazena kondenzatora: 3705,14 Pa

#### 4.6. Defrostacijska posuda

→ proračun potrebnog volumena defrostacijske posude s obzirom na potrebe otapanja komora toplim plinom:

- max. toplinski kapacitet toplog plina namjenjen za otapanje: 200 kW
- max. dopušteni broj komora u jednom ciklusu otapanja: 3
- radna temperatura defrostacijske posude tijekom otapanja: -10°C
- gustoća kapljevine radne tvari pri  $T_{eHP} = -10^\circ\text{C}$ : 652,06 kg/m<sup>3</sup>
- tlak u sustavu potrošača tijekom otapanja ( $p_{def}$ ): 5 bar
- temperatura u sustavu potrošača tijekom otapanja ( $T_{def}$ ): 4,1°C
- toplina isparavanja radne tvari pri  $T_{def}$ : 1296,7 kJ/kg
- maseni protok toplog plina tijekom otapanja: 0,154 kg/s
- efektivno vrijeme jednog ciklusa otapanja: 30 min
- potrebna masa toplog plina za jedan ciklus otapanja: 277,63 kg
- volumen radne tvari nakon jednog ciklusa otapanja: 0,43 m<sup>3</sup>
- broj ciklusa otapanja između pražnjenja defrostacijske posude: 2

Maksimalna masa radne tvari u defrostacijskoj posudi: 555,26 kg

Maksimalni volumen radne tvari u defrostacijskoj posudi: 0,85 m<sup>3</sup>

#### DIMENZIJE ODABRANE DEFROSTACIJSKE POSUDE:

- vanjski promjer  $D_v$ : 800 mm
- duljina posude  $L$ : 2400 mm
- debljina stijenke plašta  $s$ : 10 mm
- volumen posude  $V_{pos}$ : 1,3 m<sup>3</sup>

Maksimalna zapunjenost defrostacijske posude: 65,4%

Maksimalna dopuštena zapunjenost defrostacijske posude: 70% [1]

→ odabrana posuda zadovoljava uvjet minimalnog volumena

#### 4.7. Sakupljač ukapljene radne tvari

Proračunom se određuje minimalno potreban volumen sakupljača radne tvari nakon kondenzacije koji osigurava dovoljnu količinu kapljevite radne tvari za usis separatora kapljevine, te za nesmetan rad postrojenja tijekom traženog vremena bez dotoka nove radne tvari.

→ proračun minimalno potrebnog masenog, odnosno volumnog protoka radne tvari za dopunu separatora kapljevine na temp. režimu  $TeLP=-30^{\circ}\text{C}$ :

• radna tvar:	NH3
• ukupno potrebni rashladni učin na temp. režimu $TeLP$ :	497 kW
• gustoća kapljevine radne tvari pri $TeLP$ :	677,83 kg/m <sup>3</sup>
• toplina isparavanja radne tvari pri $TeLP$ :	1359,7 kJ/kg
• maseni protok radne tvari u rashladnom krugu $Te=-30^{\circ}\text{C}$ :	0,37 kg/s
• volumni protok radne tvari u rashladnom krugu $Te=-30^{\circ}\text{C}$ :	1,96 m <sup>3</sup> /h

→ proračun minimalno potrebnog masenog odnosno volumnog protoka radne tvari za dopunu separatora kapljevine na temp. režimu  $TeHP=-10^{\circ}\text{C}$ :

• radna tvar:	NH3
• ukupno potrebni rashladni učin na temp. režimu $TeHP$ :	586 kW
• gustoća kapljevine radne tvari pri $TeHP$ :	652,06 kg/m <sup>3</sup>
• toplina isparavanja radne tvari pri $TeHP$ :	1296,7 kJ/kg
• maseni protok radne tvari u rashladnom krugu $Te=-10^{\circ}\text{C}$ :	0,45 kg/s
• volumni protok radne tvari u rashladnom krugu $Te=-10^{\circ}\text{C}$ :	2,49 m <sup>3</sup> /h

→ proračun ukupno potrebnog masenog, odnosno volumnog protoka za dopunu separatora kapljevine cijelog rashladnog sustava:

• ukupno maksimalni maseni protok radne tvari cijelog sustava:	0,82 kg/s
• ukupno maksimalni volumni protok radne tvari cijelog sustava:	5,03 m <sup>3</sup> /h

→ proračun potrebne količine radne tvari za nesmetani rad separatora kapljevine tijekom vremena bez dotoka novog amonijaka u sakupljač:

• min. vrijeme rada sustava bez dotoka nove količine amonijaka:	6 min
---	-------

Potrebno radne tvari za rad separatora u vremenu bez dotoka nove količine: 295,2 kg

→ proračun količine radne tvari u optoku visokotlačnog dijela rashladnog sustava:

• količina amonijaka unutar cijevne sekcije kondenzatora:	195 kg
• ukupno predviđeni broj kondenzatora:	2
• masa radne tvari u sekcijama oba kondenzatora:	390 kg

- masa radne tvari u visokotlačnom cjevovodu u optoku: 124,66 kg

Ukupno masa radne tvari u optoku visokotlačnog dijela sustava: 514,66 kg

→ proračun ukupno potrebne minimalne količine radne tvari za nesmetani rad cijelog rashladnog sustava u vremenu bez dotoka nove radne tvari u sakupljač:

- maksimalna masa radne tvari u defrostacijskoj posudi: 555,26 kg
- potrebno radne tvari za rad separatora u vremenu bez dotoka: 295,2 kg
- količina radne tvari u optoku visokotlačnog dijela sustava: 514,66 kg

Minimalna masa radne tvari koju sakupljač mora prihvatiti: 1365,12 kg

#### DIMENZIJE ODABRANOG SAKUPLJAČA KAPLJEVINE

- vanjski promjer  $D_v$ : 1200 mm
- duljina  $L$ : 3600 mm
- debljina stjenke  $s$ : 10 mm
- volumen posude  $V_{pos}$ : 4,5 m<sup>3</sup>

Zapunjenost sakupljača prije pražnjenja defrostacijske posude: 11,96%

Zapunjenost sakupljača nakon pražnjenja defrostacijske posude: 32,17%

Max. zapunjenost sakupljača s radnom tvari iz optoka: 51,64%

Max. dopuštena zapunjenost sakupljača kapljevine: 70%

→ posuda sakupljača kapljevine zadovoljava minimalnog volumena

#### 4.8. Veza sakupljača kapljevine i defrostacijske posude

Pražnjenje defrostacione posude u sakupljač odvija se gravitacijski, dakle def. posuda mora se postaviti na geodetski višu točku od sakupljača. Uvjet za pražnjenje posude je vrijeme trajanja pražnjenja ne više od 10 minuta. Spoj def. posude i sakupljača sastoji se od čeličnog cjevovoda sa fitinzima i grupe regulacijskih i zapornih ventila te filtera. Također je postavljen i zaobilazni cjevovod za pražnjenje posude u slučaju da motorni ventil zakaže. Geodetska razlika visine def. posude i sakupljača mora biti dovoljna da se savladaju linijski otpori u cjevovodu te lokalni padovi tlaka u ventilima i filteru.

- max. dopušteno vrijeme pražnjenja defrostacijske posude: 10 min
- gustoća radne tvari pri  $T_c = +35^\circ\text{C}$ : 587,4 kg/m<sup>3</sup>
- ukupni volumen odabranog sakupljača kapljevine: 4,5 m<sup>3</sup>
- zapunjenost sakupljača prije pražnjenja defrostacijske posude: 11,96%



- masa radne tvari u sakupljaču prije pražnjenja def. posude: 295,2 kg
- ukupni volumen odabrane def. posude: 1,3 m<sup>3</sup>
- maksimalna masa radne tvari unutar def. posude: 555,26 kg
- maksimalni volumen radne tvari u def. posudi: 0,85 m<sup>3</sup>
- potrebni maseni protok za pražnjenje prema uvjetu dozvoljenog vremena za pražnjenje: 0,93 kg/s
- volumni protok za pražnjenje: 5,7 m<sup>3</sup>/h
- odabrani nazivni otvor cjevovoda: DN50
- brzina istjecanja radne tvari iz defrostacijske posude: 0,77 m/s
- pad tlaka kroz cjevovod DN50:

→ ventilska amonijačna grupa za automatsko pražnjenje defrostacijske posude sastoji se od slijedećih elemenata:

Tablica 11. Popis elemenata ventilske grupe i njihove karakteristike u pogonu

Naziv elementa	Količina	Kv [m <sup>3</sup> /h]	dp [kPa]
1. ICM50B motorni ventil	1	40	1,19
2. REG50 ručni zaporno regulacijski ventil	2	45	0,94
3. SVA50 ručni zaporno regulacijski ventil	2	65	0,45
4. FIA filter	1	46	0,90
			3,48

Veličina dp u tablici 10. označava pad tlaka preko elementa ventilske grupe, a dobiven je na temelju Kv vrijednosti dan od strane proizvođača opreme, preko slijedećeg izraza:

$$\Delta p = SG \left( \frac{\dot{V}}{Kv} \right)^2$$

pri čemu bezdimenzijska veličine SG označava specifičnu gravitaciju, tj. omjer gustoća radne tvari i referentne gustoće vode i u ovom slučaju iznosi SG=0,588.

→ proračun potrebne visinske razlike priključaka kako bi se gravitacijski savladao ukupni pad tlaka u cjevovodu (linijski i lokalni otpori):

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu} = 193658$$

$$\lambda \frac{L + L_{ekv}}{D} \frac{\rho v^2}{2} = \rho g L$$

$$L = \frac{\lambda L_{ekv} v^2}{2gD - \lambda v^2} = 0,64m$$

→ minimalno potrebna geodetska visinska razlika za svladavanje pada tlaka: 0,64 m

#### 4.9. Proračun pada tlaka u visokotlačnom cjevovodu

→ maksimalni pad tlaka po metru duljine tlačnog cjevovoda prema ASHRAE: 684 Pa/m [2]

→ proračun pada tlaka cjevovoda od kompresora br.1 i br.2 do glavnog voda:

- odabrana dimenzija cijevi: DN65
- maseni protok: 0,2957 kg/s
- volumni protok: 125,89 m<sup>3</sup>/h
- brzina strujanja u cijevi: 9,38 m/s
- duljina cjevovoda od kompresora do glavnog voda: 6 m
- ukupni pad tlaka (linijski i lokalni): 2,236 kPa

→ pad tlaka po metru duljine cjevovoda: 372,8 Pa/m < 684 Pa/m

→ proračun pada tlaka cjevovoda od kompresora br.7 do glavnog voda:

- odabrana dimenzija cijevi: DN50
- maseni protok: 0,19 kg/s
- volumni protok: 80 m<sup>3</sup>/h
- brzina strujanja u cijevi: 10,91 m/s
- duljina cjevovoda od kompresora do glavnog voda: 12 m
- ukupni pad tlaka (linijski i lokalni): 5,504 kPa

→ pad tlaka po metru duljine cjevovoda: 550,4 Pa/m < 684 Pa/m

→ proračun pada tlaka glavnog tlačnog voda:

- odabrana dimenzija cijevi: DN80
- maseni protok: 0,5914 kg/s
- volumni protok: 252 m<sup>3</sup>/h
- brzina strujanja u cijevi: 13,62 m/s
- duljina cjevovoda do grananja prema kondenzatorima: 30 m
- ukupni pad tlaka (linijski i lokalni): 7,63 kPa

→ pad tlaka po metru duljine cjevovoda: 254 Pa/m < 684 Pa/m

→ ogranci prema podjedinim kondenzatorima su dimenzije DN65, te s obzirom da nose jednaku količinu amonijaka, vrijede uvjeti strujanja kao i za cjevovode od kompresora br.1 i br.2 do glavnog voda, samo sa manjim padom tlaka zbog manje duljine i manje lokalnih otpora; kapljevinski vod se dimenzionira za maksimalnu brzinu strujanja do 0,5 m/s, što odabrani cjevovodi ogranaka DN65 i glavnog kapljevinskog voda DN80 zadovoljavaju.

## Literatura

[1] Dimcer I., Kanoglu M., Refrigeration Systems and Application, Wiley, 2010.

[2] ASHRAE, Refrigeration 2006

## CRTEŽI

- shema NH3 strojarnice 2
- dispozicijski rashladne opreme